

*Pengaruh Quenching pada Derajat Kristalinitas dan Sifat Mekanik Polietilena dan Polipropilena (Indra Gunawan)*

## PENGARUH *QUENCHING* PADA DERAJAT KRISTALINITAS DAN SIFAT MEKANIK POLIETILENA DAN POLIPROPILENA

**Indra Gunawan<sup>1</sup>, Bambang Sugeng<sup>1</sup>, Sudirman<sup>1</sup>,  
Aloma K.K.<sup>1</sup> dan Debbi Chrissant<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN) - BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang*

<sup>2</sup>*FMIPA Universitas Andalas  
Kampus Limau Manis, Padang 25163*

### ABSTRAK

**PENGARUH *QUENCHING* PADA DERAJAT KRISTALINITAS DAN SIFAT MEKANIK POLIETILENA DAN POLIPROPILENA.** Telah dipelajari pengaruh *quenching* pada derajat kristalinitas dan sifat mekanik polietilena dan polipropilena. *Quenching* dilakukan pada beberapa variabel yaitu waktu *quenching* 10 detik, 60 detik dan 300 detik serta suhu *quenching* 10 °C, 20 °C, 28 °C dan 30 °C. Hasil percobaan menunjukkan perubahan titik transien ke *steady state* terjadi pada waktu *quenching* 60 detik pada berbagai suhu *quenching* dan berbagai sifat bahan yang telah dipelajari, ditandai dengan adanya pembelokan gradien tinggi ke rendah. Akibat *quenching* derajat kristalinitas berpengaruh pada sifat mekanik (kuat luluh dan kuat tarik). Polietilena yang berderajat kristalinitas sekitar 17 % menunjukkan kuat luluh sekitar 100 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tarik 140 kg/cm<sup>2</sup>. Polipropilena berindeks *Melt Flow* 2 (PPMF2) memiliki derajat kristalinitas 47 % menunjukkan kuat luluh 267 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tarik 267 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan contoh bahan polipropilena dengan indeks *Melt Flow* 35 (MF35) berderajat kristalinitas 39 %, menunjukkan kuat luluh 207 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tarik 260 kg/cm<sup>2</sup>.

**Kata kunci :** *Quenching*, derajat kristalinitas, sifat mekanik, polietilena, polipropilena

### ABSTRACT

**THE INFLUENCE OF QUENCHING TO DEGREE OF CRISTALLINITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE.** A study of quenching process to degree of cristallinity and mechanical properties of polyethylene and polypropylene has been done. Quenching process was carried out at several variables such as quenching time of 10, 60, 300 seconds and quenching temperature of 10, 20 and 30 °C. The result of this work shows that changes of transient point to steady state occurred at quenching time of 60 seconds to be marked by the turning point of trend properties curved from higher gradient to lower. Due to quenching process the degree of cristallinity influences the mechanical properties i.e. yields strength and tensile strength. Polyethylene that has crystalline degree of 17 % shows yield strength of 100 kg/cm<sup>2</sup> and tensile strength of 140 kg/cm<sup>2</sup>. Polypropylene with melt flow indices of 2 (PPMF2) and has the crystalline degree of 47 % shows yield strength of 267 kg/cm<sup>2</sup> and tensile strength of 267 kg/cm<sup>2</sup>, meanwhile PPMF35 with crystalline degree of 39 % possesses yield strength of 207 kg/cm<sup>2</sup> and tensile strength of 260 kg/cm<sup>2</sup>.

**Key words :** Quenching, degree of cristallinity, mechanical properties, polyethylene, polypropylene

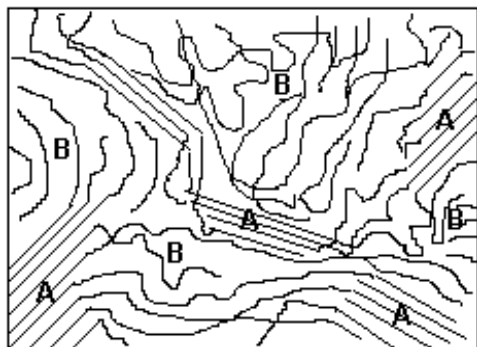
### PENDAHULUAN

Polietilena dan polipropilena adalah polimer sintesis yang dikategorikan sebagai polimer termoplastis, memiliki sifat-sifat massa jenis rendah, dapat didaur ulang dan harganya murah. Pembentukan polimer melalui reaksi berantai (polimerisasi) dari sejumlah n satuan struktur senyawa kimia (monomer). Polietilena diperoleh dari reaksi berantai etilena, sedangkan satuan struktur polipropilena adalah propilena.

Proses pembentukan rantai selama polimerisasi bersifat acak, oleh karena itu rantai-rantai polimer

yang berbeda dalam suatu contoh polimer akan mempunyai panjang yang berbeda-beda pula, sehingga massa nisbi (*Mr*)nya berbeda-beda. Massa molekul nisbi merupakan salah satu faktor yang menentukan sifat polimer. Faktor penting lainnya berupa susunan rantai di dalam polimer. Penelitian sinar X terhadap polimer menunjukkan bahwa dalam bahan polimer terdapat daerah yang di dalamnya rantai-rantai polimer tersusun secara teratur, yang disebut daerah berkristal dan daerah-*amorf*, yang di dalamnya rantai-rantai

polimer berada dalam keadaan tidak teratur, seperti Gambar 1 [1].



A mewakili daerah berkristal  
B mewakili daerah nirbentuk

**Gambar 1.** Struktur daerah kristalin-nirbentuk (*amorf*) suatu contoh polimer.

Suatu bahan polimer dapat berupa sebagian kristalin yang disebut semikristalin, seperti polietilena (PE), polietilena tereftalat (PET) dan polipropilena (PP). Ada juga beberapa polimer dengan struktur nirbentuk (*amorf*), seperti polimetil metakrilat (PMMA) dan polistirene (PS). Daerah kristalin tersusun dari rantai molekul yang teratur sehingga rapat, mempunyai kuat tarik lebih besar di banding daerah *amorf*, karena daerah *amorf* mempunyai susunan rantai molekul yang tidak teratur. Perbandingan antara fasa kristal dan fasa *amorf* dinyatakan dengan derajat kristalinitas. Penentuan derajat kristalinitas dapat dilakukan dengan metode sinar-X (XRD) [2]. Pemahaman derajat kristalinitas dan sifat mekanik berpengaruh terhadap penggunaan bahan. Daerah berkristal dapat terbentuk, jika rantai-rantai mampu saling mendekati sampai jarak sedemikian dekat, sehingga menyebabkan gaya tarik antar rantai bekerja. Banyak faktor yang menentukan gaya tarik antar rantai timbul atau tidak, tetapi secara mudah dapat dilihat bahwa rantai-rantai lurus dapat saling mendekati dengan jarak yang lebih pendek dibandingkan rantai-rantai bercabang dalam polimer yang sama [1].

Pengamatan perubahan struktur kristalin bahan termoplastik polietilena pada suhu antara 18 °C sampai dengan 140 °C telah dilakukan [3]. Sudirman, dkk telah melakukan studi pengaruh *quenching* terhadap sifat mekanik dan fisik pada polietilena [4]. Pada makalah ini akan dilaporkan studi tentang derajat kristalinitas dan sifat mekanik bahan polimer polietilena dan polipropilena akibat perlakuan *quenching*.

*Quenching* adalah pendinginan mendadak suatu objek panas karena terendam dalam fluida pendingin, seperti air atau minyak. Pada dasarnya *quenching* adalah proses pendinginan transien pada permukaan objek panas yang pada awalnya bersuhu di atas suhu saturasi pendingin akan diselimuti uap. Permukaan akan mendingin dengan cepat saat selimut uap runtuh dan memungkinkan fluida pendingin bersentuhan langsung

dengan permukaan objek. Laju pendinginan sebanding dengan perbedaan energi antara proses konveksi dan proses konduksi [5].

Dihipotesiskan, bahwa *quenching* akan mengakibatkan susunan daerah kristalin mengalami perubahan dan akan mempengaruhi sifat mekanik. Perlakuan *quenching* yang berbeda akan mempengaruhi sifat-sifat lembaran bahan uji, sehingga pengaruh *quenching* terhadap lembaran bahan uji sebagai suatu produk plastik perlu diketahui.

Dalam makalah ini akan dibahas pengaruh *quenching* terhadap susunan daerah kristalin yang dinyatakan dengan derajat kristalinitas di dalam polimer termoplastis, dan hubungannya dengan sifat mekanik. Diharapkan dapat diketahui perlakuan *quenching* terbaik dalam pembentukan lembaran dari bahan plastik LDPE, PPMF2 dan PPMF35.

Polietilena yang digunakan pada penelitian ini berjenis densitas rendah, *Low Density Polyethylene* (LDPE), sedangkan polipropilena yang digunakan berdasarkan indeks *melt flow* yang mempunyai pengertian kemampuan leleh pada saat dipanaskan, yaitu PP MF2 dan PP MF35. Indeks *melt flow* berhubungan dengan panjang rantai polimer atau berat molekul polimer, semakin tinggi indeks *melt flow* semakin berkurang berat molekul polimer.

## METODE PERCOBAAN

### Bahan

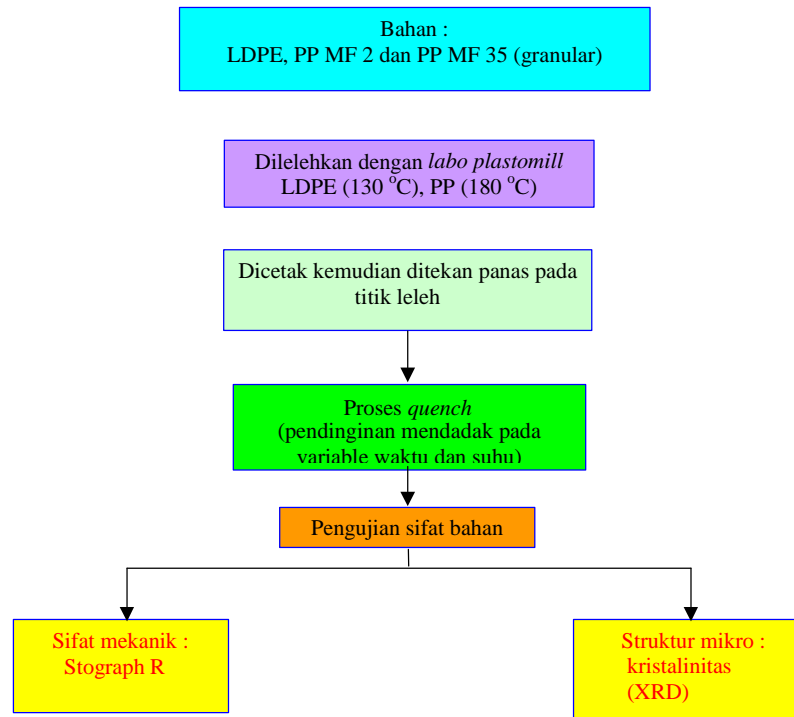
Polietilena (PE) yang digunakan berjenis densitas rendah (LDPE), titik leleh 110-120 °C [2], buatan Samsung General Chemicals Co. Ltd. Korea. Polipropilena buatan Trypolyta Indonesia Tbk., Cilegon, Indonesia. Polipropilena MF 2, massa jenis: 0,8956, Titik leleh : 160-180 °C [2], Polipropilena MF 35, massa jenis : 0,8776, Titik leleh : 183 °C.

### Alat

Labo Press-3 merek Struer, Mesin Uji Tarik Stograph R- 1 merk Toyoseiki, Jepang, Difraktometer Sinar X (XRD) merek Shimadzu tipe XD 610.

### Cara Kerja

*Quenching* dilakukan pada beberapa variabel yaitu waktu *quenching* 10 detik , 60 detik dan 300 detik serta suhu *quenching* 10 °C, 20 °C, 28 °C (suhu kamar) dan 30 °C. Proses *quenching* dilakukan setelah polimer (LDPE, PPMF2, PPMF10) dipanaskan ke dalam *labo plastomill* pada suhu 130 °C untuk LDPE, dan 180 °C untuk PP. Hasil yang diperoleh dituang ke dalam alat cetak dan dilakukan penekanan panas untuk selanjutnya dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) pada variabel proses yang dipelajari. Sampel yang diperoleh selanjutnya dilakukan uji sifat mekanik, sifat termal dan



Gambar 2. Bagan alir studi *quenching* terhadap PE dan PP.

penentuan derajat kristalinitas dengan metode XRD. Bagan alir studi sifat mekanik, dan penghitungan derajat kristalinitas dari LDPE, PPMF2, PPMF35 pada beberapa variasi *quenching* ditampilkan pada Gambar 2.

### Pengujian Sifat Mekanik

Lembaran film bahan polimer dipotong berbentuk *dumb bell* (ASTM D-1822-L), dan seluruh permukaan sampel harus bebas cacat, seperti : goresan, retak dan rongga, serta selanjutnya potongan sampel dijepitkan pada penjepit mesin Toyoseiki dengan jarak yang terlebih dahulu ditandai dengan dua garis sejajar. Alat uji kekuatan tarik Stograph R1, kemudian dihubungkan dengan kompresor dan sampel disiapkan sedemikian rupa, sehingga tegangan yang diberikan akan terbagi merata pada penampang sampel, dengan *crosshead speed* 100 mm/menit dan recorder disiapkan dengan kecepatan 20 mm/menit.

### Analisis Derajat Kristalinitas

Penentuan derajat kristalinitas dilakukan dengan menggunakan metode difraksi sinar-X. Perhitungan derajat kristalinitas dilakukan dengan membandingkan luasan puncak kristalin yang mempunyai intensitas menajam dan tinggi, terhadap luasan puncak *amorf* yang ditunjukkan oleh pola difraksi yang melebar dan landai. Alat yang digunakan adalah Difraktometer sinar-X (XRD) Shimadzu XD 610, target Cu = K $\alpha$ , tegangan 30 = KV, arus 20 mA, sudut hamburan  $2\theta = 5^\circ - 60^\circ$ , kecepatan sapuan 4 °/menit.

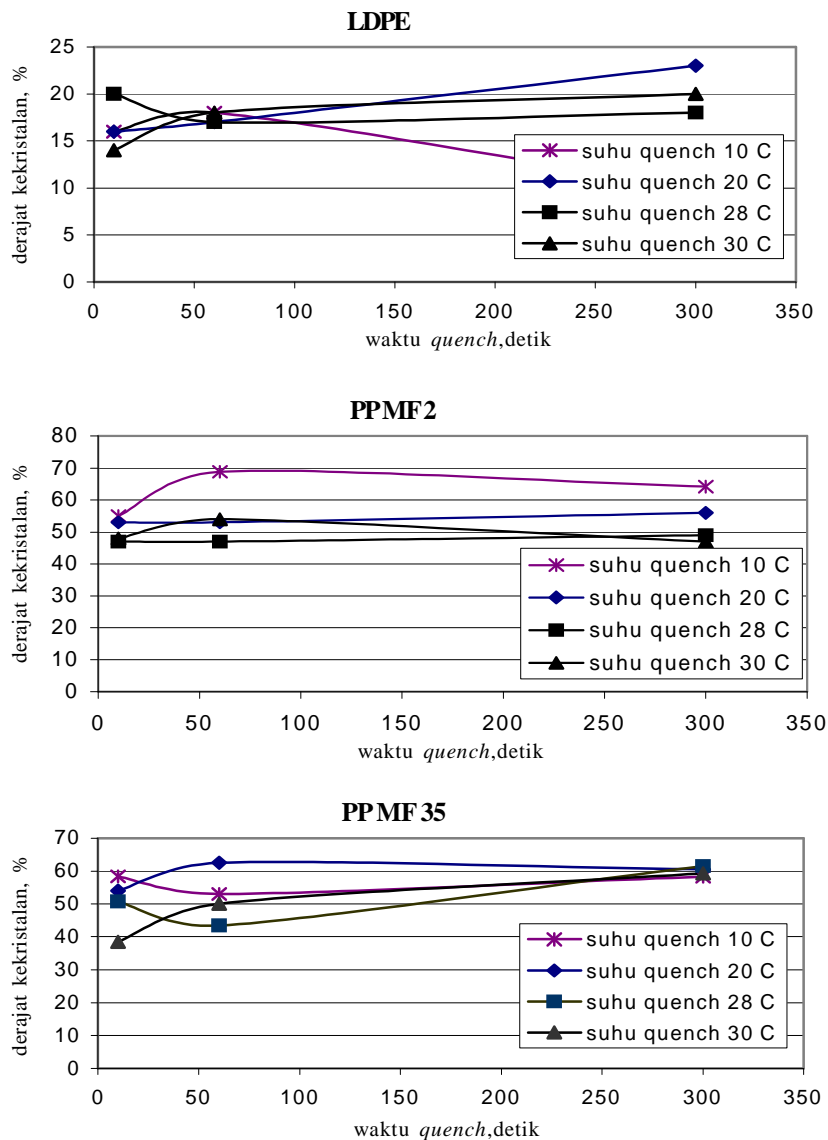
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Derajat Kristalinitas

Pengaruh waktu dan suhu *quenching* terhadap derajat kristalinitas LDPE, PPMF2 dan PPMF35 terlihat pada Gambar 3.

Kurva kecenderungan derajat kristalinitas sebagai fungsi waktu *quenching* untuk LDPE cenderung tidak tampak terlihat perbedaannya. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya [4] yang memperlihatkan bahwa perlakuan proses tidak berpengaruh terhadap derajat kristalinitas yang dimiliki oleh LDPE. Sedangkan derajat kristalinitas untuk bahan PPMF2 dan PPMF35 terlihat berubah eksponensial terhadap waktu *quenching* dengan titik pembelokan terjadi pada waktu *quenching* 60 detik. Hal ini menunjukkan fenomena perubahan titik transien ke *steady state* untuk bahan polimer PPMF2 dan PPMF35 tampak terlihat dengan adanya titik belok.

Fenomena ini menjelaskan bahwa *quenching* adalah proses pendinginan transien (fungsi waktu) pada permukaan objek panas yang pada awalnya bersuhu di atas suhu jenuh pendingin. Setelah kondisi transien terlampaui, maka proses ini tidak lagi dipengaruhi waktu (*steady state*), dimana dari hasil percobaan perubahan dari titik transien ke *steady state* ini terjadi pada detik ke-60, ditandai dengan tidak berubahnya derajat kristalinitas bahan terutama PPMF2 dan PPMF35. Fenomena derajat kristalinitas bahan setelah titik transien pada bahan PPMF2 dan PPMF35 terlihat acak (ada kecenderungan naik atau sebaliknya), disebabkan oleh pembentukan kembali



**Gambar 3.** Pengaruh waktu dan suhu *quenching* terhadap derajat kristalinitas LDPE, PPMF2 dan PPMF35.

daerah kristalin dan *amorf* setelah pemanasan dan *quenching* bersifat acak.

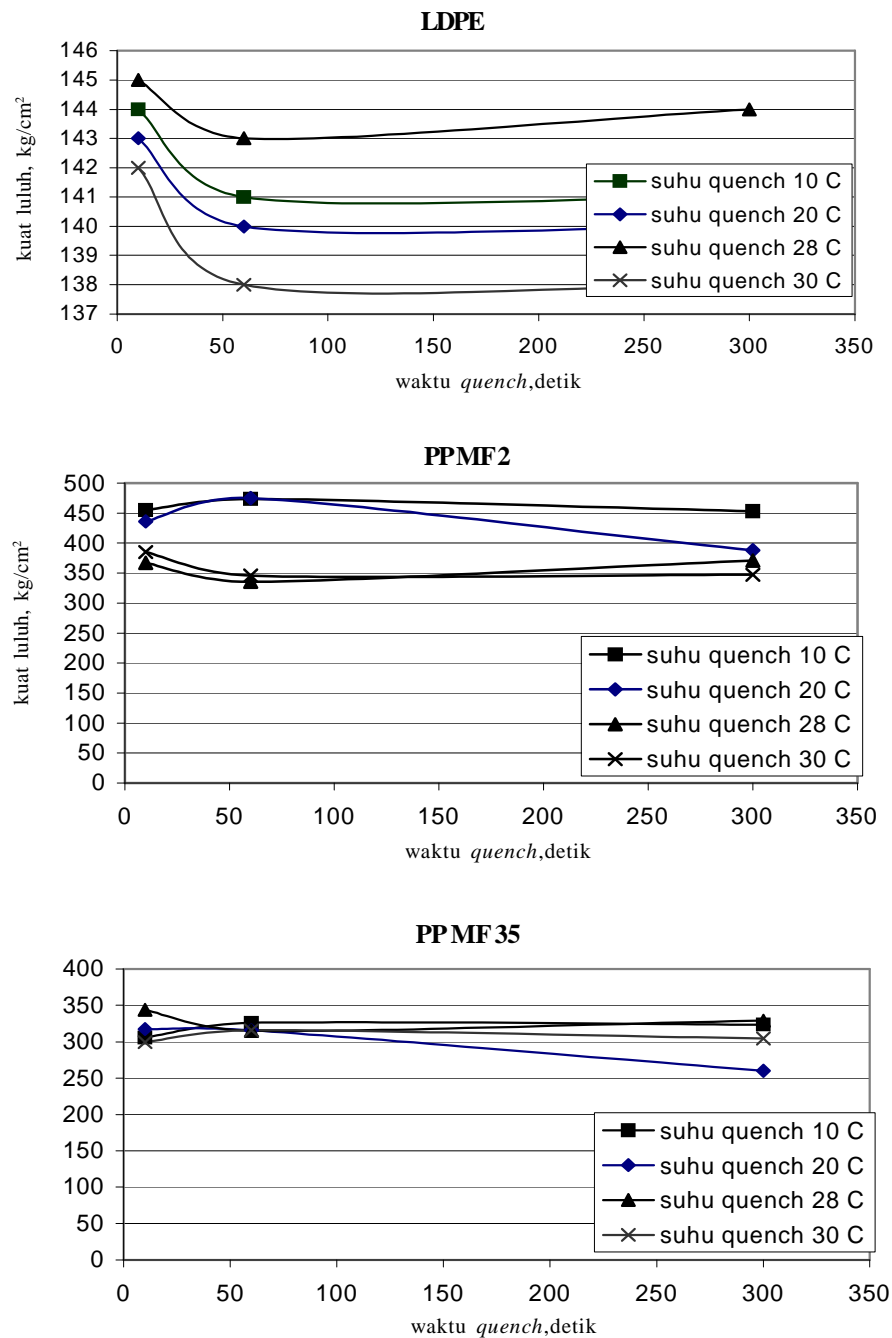
Dengan membandingkan struktur satuan bahan polietilena dan polipropilena, perbedaan pengaruh waktu *quenching* terhadap derajat kristalinitas bahan dapat dijelaskan. Struktur satuan polipropilena lebih panjang satu gugus atom C, dan mengakibatkan pembentukan rantai-rantai molekul yang lebih lurus dibanding polietilena. Pembentukan rantai lurus dan gaya ikat antar rantai sangat berpengaruh terhadap derajat kristalinitas bahan. Pemanasan dan pendinginan di dalam media yang diinginkan selama waktu *quenching* seperti yang dilakukan pada penelitian ini, akan menyebabkan susunan rantai dan susunan daerah kristalin berubah.

### Sifat Mekanik

Pengaruh waktu dan suhu *quenching* terhadap sifat mekanik bahan polimer LDPE, PPMF2 dan

PPMF35 tertera pada Gambar 4 (*kuat luluh*) dan Gambar 5 (*kuat tarik*).

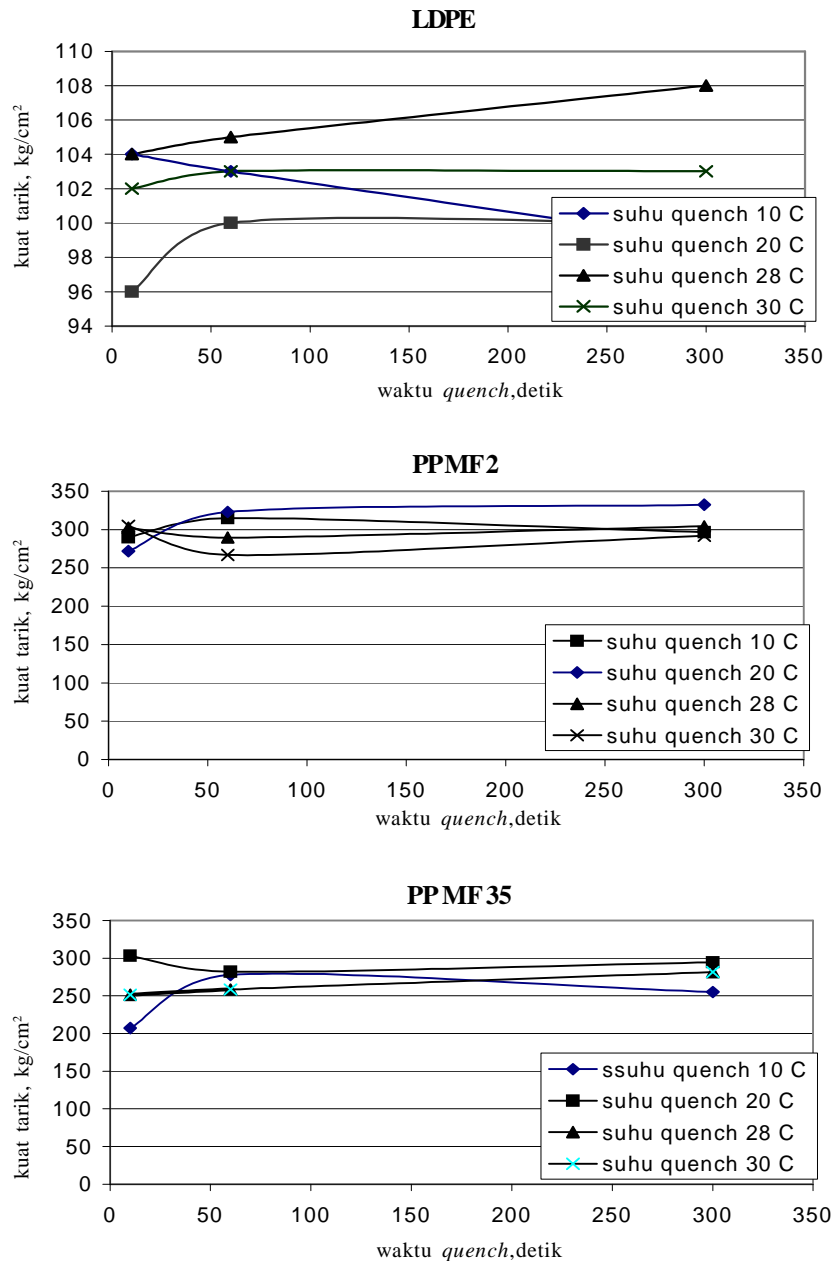
Secara keseluruhan ketiga bahan polimer LDPE, PPMF2 dan PPMF3 dikategorikan sebagai bahan plastis, mengingat ketiga contoh bahan polimer memiliki kuat luluh dan kuat tarik. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa *quenching* mempengaruhi derajat kristalinitas bahan polimer yang diteliti, sedangkan derajat kristalinitas berpengaruh pada sifat mekanik bahan (kuat luluh dan kuat tarik). LDPE dengan derajat kristalinitas sekitar 17 % menunjukkan kuat luluh *sekitar* 100 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tarik *sekitar* 140 kg/cm<sup>2</sup>. Untuk contoh bahan PPMF2 dengan derajat kristalinitas 47 % sampai 69 % menunjukkan kuat luluh 267 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 332 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tarik 267 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 474 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan contoh bahan PPMF35 dengan derajat kristalinitas 39% sampai dengan 63% menunjukkan kuat luluh 207 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 303 kg/cm<sup>2</sup> dan kuat tarik 260 sampai 326 kg/cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.** Pengaruh waktu dan suhu *quenching* terhadap kuat luluh (kg/cm<sup>2</sup>) LDPE, PPMF2 dan PPMF35.

Studi *quenching* terhadap kuat luluh LDPE hampir memperlihatkan pola yang sama, dimana kuat luluh LDPE mengalami penurunan eksponensial yang sama untuk berbagai suhu *quenching*, seiring kenaikan waktu *quenching*. Sedangkan studi *quenching* terhadap kuat tarik LDPE, dapat disimpulkan bahwa kuat tarik LDPE semakin meningkat seiring kenaikan waktu *quenching* (suhu *quenching* 20 °C dan 30 °C) kecuali kuat luluh LDPE pada suhu *quenching* 10 °C yang menurun linier seiring kenaikan waktu *quenching*.

Seperti halnya tampak dari kurva derajat kristalinitas contoh bahan PPMF2 dan PPMF 35 sebagai fungsi waktu dan suhu *quenching* yang terlihat acak (ada kecenderungan naik atau sebaliknya), pola acak yang sama terlihat juga pada hubungan sifat mekanik sebagai fungsi *quenching*. Hal ini mungkin disebabkan oleh pembentukan kembali daerah kristalin dan *amorf* setelah pemanasan dan *quenching* bersifat acak. Secara keseluruhan fenomena titik transien yang terdapat di kurva derajat kristalinitas, terjadi juga pada kurva



**Gambar 5.** Pengaruh waktu dan suhu *quenching* terhadap kuat tarik (kg/cm<sup>2</sup>) LDPE, PPMF2 dan PPMF35.

kecenderungan sifat mekanik sebagai fungsi waktu *quenching* (untuk berbagai suhu *quenching*), dimana pada titik waktu *quenching* 60 detik pola kecenderungan sifat mekanik bahan mengalami pembelokan dari gradien tinggi ke gradien rendah.

## KESIMPULAN

1. Hasil percobaan menunjukkan perubahan titik transien ke *steady state*, dimana peristiwa *quenching* terjadi pada waktu *quenching* 60 detik pada berbagai suhu *quenching* dan berbagai sifat bahan yang telah dipelajari, ditandai dengan adanya pembelokan gradien tinggi ke rendah.

2. *Quenching* mempengaruhi pembentukan kembali rantai-rantai molekul lurus yang ditandai dengan perubahan derajat kristalinitas contoh bahan polimer yang dipelajari. Sedangkan derajat kristalinitas berpengaruh pada sifat mekanik bahan (kuat luluh dan kuat tarik).

## DAFTARACUAN

- [1]. VANVLACK, L.H., DJAPRIE, S., *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Erlangga, Jakarta, (1992)
- [2]. BILLMEYER, F.W., *Textbook of Polymer Science*, John Wiley & Sons, New York, (1984)

- [3]. SUGENG, B., ISMOYO, A.H., Analisa Struktur Polimer Termoplastis HDPE dan LDPE pada Temperatur Tinggi, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi*, Serpong (1996)
- [4]. SUDIRMAN, ALOMA, K.K., DARWINTO, T., SUGENG, B., HERMAWAN, Pengaruh *quenching* terhadap sifat mekanik dan fisik pada polietilena (LLDPE dan LDPE), *Prosiding Pertemuan Ilmiah Sains Materi*, Serpong (1999)
- [5]. CHEREMISINOFF, N.P., *Hand Book of Heat and Mass Transfer Vol. 1 : Heat Transfer Operations*, Gulf Publishing Company, Houston, (1986) 1103